

УДК 621.22 (470+571) «21»

Б.Б. Богуш, Р.М. Хазиахметов, В.В. Бушуев, Н.И. Воропай, Е.Н. Беллендир, Е.И. Ваксова, В.И. Чемоданов, С.В. Подковальников¹

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ ДО 2030 ГОДА И НА ПЕРСПЕКТИВУ ДО 2050 ГОДА

В работе рассмотрены основные положения Программы развития гидроэнергетики России в увязке с прогнозными уровнями спроса на электроэнергию и балансовой ситуацией в объединенных энергосистемах России на период до 2050 года. Программа была разработана в рамках НИОКР по заданию ПАО «РусГидро» в 2015 г. специально созданным консорциумом ведущих российских научно-исследовательских и проектных организаций.

Ключевые слова: гидроэнергетика, гидроэнергетические ресурсы, электроэнергетическая инфраструктура, транспортные и межсистемные связи, программа развития гидроэнергетики, проекты энергетических мостов, балансы мощности и электроэнергии, вводы генерирующих мощностей.

Современный гидроэнергетический комплекс России составляют 102 гидроэлектростанции мощностью свыше 100 МВт. Общая установленная мощность гидроагрегатов на ГЭС в России составляет примерно 45 млн кВт (5-е место в мире), при этом в общем объеме производства электроэнергии в России доля ГЭС не превышает 21%.

Россия располагает значительным гидроэнергетическим потенциалом, что определяет широкие возможности развития гидроэнергетики. На ее территории сосредоточено около 9% мировых запасов гидроэнергии. По обеспеченности гидроэнергетическими ресурсами Россия занимает второе, после КНР, место в мире, опережая США, Бразилию, Канаду (табл. 1).

Несмотря на сохраняющуюся важную роль гидроэнергетики в ТЭК России, современное ее состояние нельзя назвать благополучным. Итоги последнего десятилетия свидетельствуют о нарастающей опасности утраты гидроэнергетикой ее стратегического значения на национальном уровне. В странах, располагающих достаточными гидроресурсами, интенсивное

гидростроительство продолжается. В итоге по производству гидроэнергии наша страна переместилась с третьего на пятое место в мире, уступая Канаде, Китаю, Бразилии и США. Для российской энергетики в долгосрочной перспективе в качестве задачи-минимум должно предусматриваться безусловное сохранение удельного веса гидрогенерации на близком к оптимальному уровню – 20%.

Для обоснования рационального и экономически эффективного использования гидроэнергетических ресурсов РФ с горизонтом планирования до 2050 г. по заданию ПАО «РусГидро» Институтом энергетической стратегии в сотрудничестве с рядом научно-исследовательских и проектных организаций (ИСЭМ СО РАН, АО «Институт Гидропроект», ОАО «ЭНИН», ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» и др.) в соответствии с государственными и официальными ведомственными материалами о состоянии и перспективе развития отрасли была разработана «Программа развития гидроэнергетики России до 2030 года и на перспективу до 2050 года» (далее Программа) [13].

¹Борис Борисович Богуш – член правления, первый заместитель генерального директора – главный инженер ПАО «РусГидро», *e-mail:* office@rushydro.ru;

Расим Магсумович Хазиахметов – директор по технической политике и развитию ПАО «РусГидро», исполнительный директор НП «Гидроэнергетика России», *e-mail:* KhaziahmetovRM@rushydro.ru;

Виталий Васильевич Бушуев – генеральный директор Института энергетической стратегии, д.т.н., профессор, *e-mail:* vital@guies.ru;

Николай Иванович Воропай – директор Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) СО РАН, чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор, *e-mail:* voropai@isem.irk.ru

Евгений Николаевич Беллендир – генеральный директор АО «Институт Гидропроект», д.т.н, *e-mail:* e.bellendir@hydroproject.ru;

Евгения Ильинична Ваксова – начальник отдела перспективных проектов АО «Институт Гидропроект», *e-mail:* oeipe@mail.ru;

Владимир Ильич Чемоданов – заместитель генерального директора по стратегическому планированию развития энергосистем ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», к.э.н., *e-mail:* chemodanov_v@oaoesp.ru

Сергей Викторович Подковальников – заведующий лабораторией ИСЭМ СО РАН, к.т.н., *e-mail:* spodkovalnikov@isem.irk.ru

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА: РОССИЯ И МИРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

Таблица 1

Гидроэнергетические ресурсы мира

Страны	Валовый гидроэнергетический потенциал	Технический гидроэнергетический потенциал	Экономический гидроэнергетический потенциал	Выработка действующих ГЭС	Освоение технических гидроэнергетических ресурсов
	ТВт•ч/год	ТВт•ч/год	ТВт•ч/год	ТВт•ч/год	%
Китай	6083	2500	1753	911,64	17
Россия	2784,3	1670	852	183,3	11
Бразилия	~2282	1250	763,5	391	31
Канада	2250	~981	~536	~353	36
Индия	2191,5	660	нет данных	114	17
США	4488	~528,5	376	269	51

Источник: [11].

Таблица 2

Гидроэнергетический потенциал РФ

Федеральный округ	Гидроэнергетический потенциал			
	Теоретический, ТВт•ч	Технический, ТВт•ч	Экономический	
			ТВт•ч	Доля от технического, %
Северо-Западный	98,9	54,9	43,0	78
Центральный	16,9	8,4	6,0	71
Поволжский и Уральский	170,0	112,5	88,0	78
Северо-Кавказский Южный	107,7	53,4	25,0	47
Итого по европейской части	393,5	229,2	162,0	70,1
Сибирский, в т.ч.	992,5	756,5	396,0	52
Западная Сибирь	144,0	92,9	46,0	50
Восточная Сибирь	848,5	663,6	350,0	53
Дальневосточный	1008,4	684,1	294,0	43
Итого Сибирь и Дальний Восток	2000,9	1440,6	690,0	47,9
Всего по России	2394,4	1669,8	852,0	51

Источник: [13].

Формирование Программы было выполнено на основе оценки социально-экономической эффективности проектов гидрогенерации, развития рынков сбыта, а также развития инфраструктуры и сетей. Ниже представлены основные положения Программы.

1. Гидроэнергетические ресурсы России (валовый, технический, экономический потенциал) составляют соответственно 2394,4 ТВт•ч, 1669,8 ТВт•ч, 852,0 ТВт•ч.

В табл. 2 приведено распределение экономически эффективной части гидроэнергетических ресурсов России по федеральным округам.

Необходимо иметь в виду, что объем экономического потенциала величина переменная во времени и определяется, прежде всего, обеспеченностью страны другими видами топливно-энергетических ресурсов, социальными аспектами, а также уровнем ее интеграции в мировую экономику (что определяет темпы роста энерго-

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА: РОССИЯ И МИРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

потребления и наиболее экономичные источники его покрытия).

Как видно из табл. 2, величина экономического потенциала России составляет немногим более 50% от технического потенциала. В настоящее время темпы развития экономики России замедлились вследствие ряда причин: продолжающийся мировой экономический кризис, введение в отношении России экономических санкций, снижение цен на нефть на мировом рынке. Поэтому нет достаточно надежных экономических факторов, которые могли бы быть положены в основу переоценки экономического гидропотенциала страны. Наряду с ужесточением требований по охране окружающей среды неясны среднесрочные и долгосрочные перспективы экономического развития страны и рынка топливно-энергетических ресурсов.

2. Согласно оценкам выполненным при подготовке Программы, основная доля гидроэнергетических ресурсов России сосредоточена на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока. Технический гидроэнергетический потенциал Восточной Сибири и Дальнего Востока составляет 1347,7 ТВт·ч (81% от общероссийского), экономический – 644 ТВт·ч (76% от общероссийского).

В Энергетической стратегии РФ до 2030 года и в проекте Энергетической стратегии РФ до 2035 года предполагается увеличение потребления электроэнергии, в том числе за счет освоения имеющихся гидроэнергетических ресурсов Восточной Сибири и Дальнего Востока [10, 12].

Освоенность гидроэнергетических ресурсов в целом по России составляет 21,5%. В зоне влияния ОЭС европейской части России освоено свыше 41% экономического потенциала, в зоне влияния ОЭС азиатской части – менее 16%.

Основная доля неосвоенных гидроэнергетических ресурсов сосредоточена в Сибирском (Восточная Сибирь) и Дальневосточном федеральных округах. Неиспользованный остаток экономического гидроэнергетического потенциала Сибири составляет 277 ТВт·ч, в том числе: Восточной Сибири – 233 ТВт·ч, Дальнего Востока – 270 ТВт·ч.

Планируемое освоение экономического гидропотенциала регионов в результате реализации представленной Программы развития гидроэнергетики России до 2030 года и на перспективу до 2050 года составляет (табл. 3):

- для Дальнего Востока РФ увеличится с 8 до 25% (к 2050 году);

Таблица 3

Освоение экономически эффективной части гидроэнергетического потенциала РФ по ОЭС

Наименование ОЭС	Экономический гидроэнергетический потенциал, ТВт·ч				Суммарный энергетический потенциал (ТВт·ч) и степень его освоения (%) к 2050 г.
	Действующие и строящиеся ГЭС	Планируется освоить			
		2015-2030 гг.	2030-2050 гг.	Всего	
ОЭС Северо-Запада	12,3	0,0	1,63	13,93	43 (32%)
ОЭС Центра	1,32	0,0	0,0	1,32	6 (22%)
ОЭС Средней Волги и Урала	26,0	0,0	0,58	26,58	69,6 (38%)
ОЭС Юга	21,3	1,61	4,97	27,88	43,4 (64%)
ОЭС Сибири	118,4	16,96	86,44	221,8	396 (56%)
ОЭС Востока и изолированные районы	23,56	32,39	21,07	77,02	294 (26%)
Итого	202,88	50,96	114,69	368,53	852 43%

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА: РОССИЯ И МИРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

- для Восточной Сибири увеличится с 33 до 61% (к 2050 году).

Дополнительное строительство ГЭС и ПЭС для интеграции гидроэнергетических ресурсов России в глобальные энергетические рынки после 2050 г. позволит довести этот уровень до 90%. Результаты проведенного при подготовке Программы экономического анализа указывают на экономическую целесообразность интеграции значительной доли перспективных ГЭС в глобальные электроэнергетические рынки [14].

3. Достигнутый уровень производительных сил и богатый природно-ресурсный потенциал Восточной Сибири и Дальнего Востока обеспечивают условия формирования и развития новых крупных территориально-производственных кластеров (ТПК), находящихся в зоне возможного строительства ГЭС в перспективе до 2030 г. и на период до 2050 г. (рис. 1 и табл. 4)

Наиболее перспективными ТПК в Восточной Сибири являются Нижне-Приангарский, Ленско-Бодайбинский и Северо-Восточный с отраслями специализации, включающими гидроэнергетику, нефте- и газодобычу, переработку углеводородного сырья (газопереработка и газохимия), лесозаготовку и лесопереработку (деревообработка и лесохимия), добычу и пере-

работку металлических руд (железных руд, золота, руд редких металлов и др.), производство молибдена, меди, олова; добычу полиметаллических руд, кварца, глинозема, нефелинов, асбеста и др.

На Дальнем Востоке к наиболее перспективным ТПК относятся Зейско-Селемджинский, Южно-Амурский, Западно-Якутский, Южно-Якутский, Яно-Колымский. Основные направления специализации этих ТПК: гидроэнергетика, добыча нефти и газа, нефте- и газопереработка, добыча и переработка железных руд и руд цветных металлов, апатитов, деревообработка, космические исследования (космодром «Восточный») и инновационные технологии, трубопроводный транспорт и др.

Прогноз электропотребления (табл. 4) по территориально-производственным кластерам в зонах строительства новых ГЭС в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке показал тесную взаимозависимость реализуемости как промышленных инвестиционных проектов, входящих в кластеры, так и гидроэнергетических проектов относительно сбыта производимой электроэнергии. Спрос на электроэнергию по указанным выше ТПК на перспективу до 2050 г. может составить более 36 ТВт·ч/год.



Источник: федеральные и региональные программы экономического развития

Рис. 1. Основные перспективные районы промышленного развития

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА: РОССИЯ И МИРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

Таблица 4

Оценка потребности ТПК РФ в электроэнергии

Наименование ТПК	Потребность в электроэнергии, млн кВт·ч	
	2030 г.	2050 г.
«Нижнее Приангарье»	4800	7200
Ленско-Бодайбинский	4630	6680
Северо-Восточный	5300	6900
Западно-Якутский	2000	2500
Южно-Якутский	3350	4100
Зейско-Селемджинский	2580	2710
Южно-Амурский	2030	3475
Яно-Колымский	2400	3000

4. Оценка перспективного внутреннего спроса на первичные энергоресурсы в России, выполненная для консервативного и целевого сценариев (табл. 5) развития экономики страны, показала, что потребление первичных топливно-энергетических ресурсов (по сравнению с 2013 г.) может увеличиться на 14-19% к 2030 г. и на 21-24% к 2050 г., достигнув, соответственно, 1145-1194 и 1221-1257 млн т у.т. При этом 81-87% прироста потребления ТЭР к 2030 г. и 78-82% к 2050 г. будет обеспечиваться за счет органического топлива.

Динамика изменения структуры потребления топливно-энергетических ресурсов в России в период 2013-2050 гг. приведена в табл. 6.

Доля ГЭС, ГАЭС сохранится на уровне 5,5% на протяжении всего рассматриваемого периода

в консервативном сценарии и увеличится к 2050 г. до 6% в целевом сценарии от общего производства первичных ТЭР.

Реализация намечаемых гидроэнергетических проектов в перспективе до 2050 г. позволит не только обеспечить надежное электроснабжение районов (кластеров) нового промышленного освоения в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, но и выйти на широкий рынок электроэнергии стран АТР.

5. В перспективе до 2030-2050 гг. в странах Евразии, прилегающих к России, ожидается существенный рост электропотребления. Согласно базовому сценарию к 2030 г. спрос на электроэнергию может превысить 17 трлн кВт·ч, а к 2050 г. – достигнуть уровня 22,6 трлн кВт·ч, то есть рост составит 2 и 2,7 раза соответственно.

Таблица 5

Прогноз потребления топливно-энергетических ресурсов в России, млн т у.т.

Показатели	2013 г.	Прогноз			
		2020 г.	2030 г.	2040 г.	2050 г.
Внутреннее потребление, всего	1003	1049/1066	1145/1194	1198/1246	1221/1257
В том числе:					
Нефть и нефтепродукты	176	195/200	219/228	221/227	225/215
Природный газ	530	558/559	620/618	643/649	638/648
Уголь	156	145/156	140/158	150/157	156/161
Нетопливные (АЭС, ГЭС, НВИЭ)	112	120/120	134/155	148/173	162/189
Прочие	25	31/31	32/35	36/40	40/44

Примечание: здесь и далее числитель соответствует консервативному сценарию, знаменатель – целевому.

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА: РОССИЯ И МИРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

Таблица 6

Прогнозируемая структура потребления (ТЭР) в России, %

Показатели	2013 г.	Прогноз			
		2020 г.	2030 г.	2040 г.	2050 г.
Внутреннее потребление ¹ , %	100	100	100	100	100
Нефть и нефтепродукты	17	19	19	18	18-17
Природный газ	53	53-52	54-52	54-52	53-52
Уголь и прочие	18	17-18	15-16	16	16
Нетопливные	12	11	12-13	12-14	13-15
из них: АЭС	5,5	5,5	6-7	6-7,5	6,5-8
ГЭС, ГАЭС	5,7	5,6	5,5	5,5	5,5-6
НВИЭ ²	0,04	0,2	0,3-0,5	0,7-0,8	1

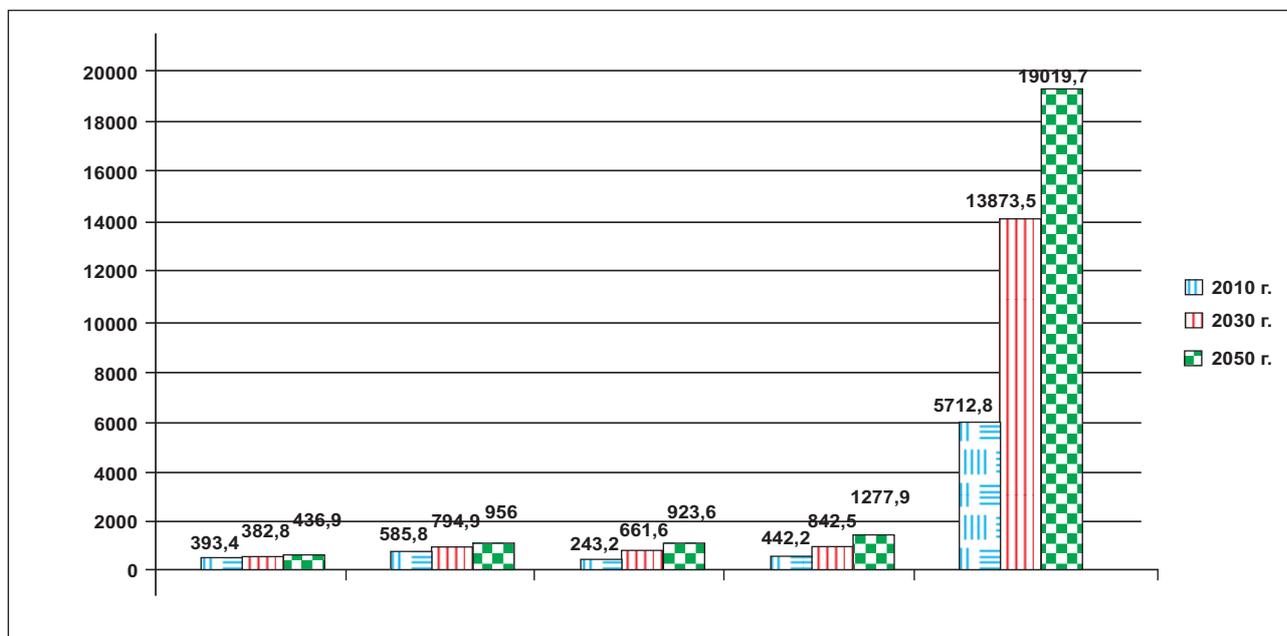
Примечание: ¹ – здесь и далее левая граница диапазона соответствует консервативному сценарию, правая – целевому сценарию; ² – при производстве электроэнергии.

При этом ситуация существенно различается в разных регионах Евразии.

Согласно прогнозам [7], в рассматриваемый период будет отмечаться тенденция опережающего роста экспорта российских энергоресурсов в азиатском направлении. На рис. 2. представлены результаты анализа возможных направлений экспорта российской электроэнергии на

основе оценки электропотребления стран Евразии, сопредельных с Россией.

Наибольший прирост электропотребления ожидается в Восточной Азии – более 13 трлн кВт·ч к 2050 году. Особенно велик он в Китае. Доля последнего в общем электропотреблении рассматриваемого Евразийского региона в настоящее время составляет примерно две трети, а



1 – Скандинавия и Прибалтика; 2 – Восточная Европа; 3 – Кавказ и Малая Азия; 4 – Центральная и Южная Азия; 5 – Восточная Азия.

Рис. 2. Электропотребление стран Евразии, сопредельных с Россией (базовый сценарий), ТВт·ч

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА: РОССИЯ И МИРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

в перспективе до 2050 г. может возрасти до трех четвертей. Значительной потребностью в электроэнергии характеризуются и такие восточноазиатские страны, как Япония и Республика Корея. Причем, если в первой спрос на электроэнергию будет стагнировать в течение всей рассматриваемой перспективы, то во второй он возрастет в два раза к 2050 г. и приблизится к японскому уровню.

Весьма существенный рост электропотребления ожидается также в других азиатских регионах, в том числе в Центральной, Южной и Малой Азии. Высокими темпами электропотребления отличаются Турция, Иран и Пакистан. Совокупное электропотребление указанных стран, согласно базовому сценарию, достигнет 1,6 трлн кВт·ч к 2050 г., а прирост за рассматриваемый период составит 1 трлн кВт·ч (то есть рост в три раза, как и в Китае). Из среднеазиатских стран значительными приростами электропотребления в период до 2050 г. отличаются Казахстан (рост почти в 2,5 раза в базовом сценарии) и Узбекистан (почти трехкратный рост в базовом сценарии).

Хотя на Кавказе темпы прироста электропотребления за рассматриваемый период более чем трехкратные, абсолютное значение спроса в регионе весьма умеренное, составляет немногим более 110 ТВт·ч к 2050 г. в базовом варианте. В минимальном варианте спрос почти в полтора раза ниже.

Менее значительными приростами электропотребления в рассматриваемой перспективе характеризуется европейское направление, причем, если для Восточной Европы прирост за этот период составит 50%, то для Скандинавии и Прибалтики – только 15%. Для Норвегии, в частности, электропотребление практически не растет (прирост составляет менее 3% за весь период прогнозирования).

Теоретический потенциал для экспортируемой российской электроэнергии можно предварительно оценить в следующих объемах (табл. 7): в европейском направлении – 150-350 ТВт·ч/год электроэнергии и 25-58 ГВт мощности, в Кавказско-Малоазиатском – 350-500 ТВт·ч/год и 55-80 ГВт, в Центрально-Южноазиатском – 350-600 ТВт·ч/год и 70-125 ГВт, наконец, в Восточно-Азиатском – 5000-9500 ТВт·ч/год и 900-1700 ГВт. В последнем случае не учитывались южные провинции Китая в качестве потенциальных рынков сбыта для российской электроэнергии. Указанные значения превышают все возможные объемы поставок не только от российских ГЭС. Конкурентоспособные объемы экспорта российской электроэнергии можно определить путем оптимизации евразийского энергообъединения в целом на рассматриваемый расчетный период.

Сопоставление стоимости производимой электроэнергии на объектах генерации за ру-

Таблица 7

Прогнозируемые объемы экспорта российской электроэнергии, ТВт·ч

Показатели		2013 ² г.	2020 г.	2030 г.	2050 г.
ЭС-2035 с экстраполяцией тенденций ¹	Экспорт, всего в том числе:	13,7	18/19	26/37	93/117
	азиатское направление	1,6	5,5/6	14,5/26	30/102
	европейское направление	12,1	12,5/13	11,5/11	63/15
Максимальное развитие ГЭС	Экспорт от новых ГЭС, в том числе:	–	–	74	146
	азиатское направление	–	–	49	121
	европейское направление	–	–	25	25

Примечание: ¹ – здесь и далее числитель соответствует консервативному сценарию, знаменатель – целевому; ² – сальдо экспорта-импорта из ЕЭС России.

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА: РОССИЯ И МИРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

бежом и электроэнергии производимой на ГЭС России показало конкурентное преимущество в цене на отечественную электроэнергию, что в первую очередь связано с ослаблением рубля на валютном рынке. Сложившиеся экономические условия будут способствовать перспективным ГЭС интегрироваться в глобальные электроэнергетические рынки с возможностью составить конкуренцию другим источникам энергии.

6. Помимо экспорта электроэнергии, возможны и представляются целесообразными обмены электроэнергией и мощностью между странами для реализации системных интеграционных эффектов, включая режимный, мощностной, экологический и другие [8]. Оценка такого рода эффектов предполагает выполнение оптимизационных расчетов с привлечением специальных электроэнергетических моделей [6].

Одним из важнейших эффектов, связанных с ролью гидроэнергетики в структуре производства электроэнергии, является возможность использования ГЭС и ГАЭС для регулирования неравномерных суточных графиков электрической нагрузки.

Для создания устойчивой структуры энергоснабжения и формирования структуры ЕЭС России в северных районах Сибири и Дальнего Востока представляется целесообразным сооружение системообразующих линий сверхвысокого напряжения в широтном направлении – север энергосистемы Тюменской области – Норильско-Таймырская энергосистема – Айхал – Центральный район энергосистемы Республики Саха (Якутия) – энергосистема Магаданской области. Первый участок электромагистрали должен привязываться к северному широтному ходу железной дороги Салехард – Игарка. Другое широтное направление будет соответствовать Северосибирской железнодорожной магистрали Нижневартовск – Белый Яр – Усть-Илимск. Впоследствии широтные магистрали будут связываться в меридиональном направлении, образуя ячеистую структуру сети.

Сооружение мощных кластеров электростанций (гидро- и тепловых) позволит с помощью ЛЭП постоянного тока ультравысокого напряжения осуществлять экспорт электроэнергии как в Юго-Восточную Азию, так и в Северную Америку через Берингов пролив [3].

Единая энергетическая система России будет развиваться как путем присоединения к ней ныне изолированных энергосистем и энерго-районов, так и путем развития межсистемных и внутрисистемных электрических сетей всех классов напряжения, в том числе для экспорта электроэнергии в глобальную сеть «Supergrid» (рис. 3, 4).

Развитие основной электрической сети ЕЭС России до 2050 г. должно происходить путем усиления сети переменного тока с возможным появлением надстройки над ней сети постоянного тока.

Усиление основной электрической сети переменного тока высших напряжений в ЕЭС России должно выполняться на напряжениях 220(330)-500(750) кВ. В перспективе основная электрическая сеть будет приобретать конфигурацию «сетки» с тремя и более линиями, подходящими к узлу. Такая структура сети обладает гибкостью к изменениям условий ее развития и функционирования.

При прогнозируемом максимуме потребления, объеме экспорта мощности и нормативном резерве мощности спрос на мощность по зоне централизованного электроснабжения России для целевого варианта оценивается в 211 млн кВт на уровне 2020 г., 252 млн кВт в 2030 г., 281 млн кВт в 2040 г. и 306 млн кВт в 2050 г.; в консервативном варианте, соответственно, 205 млн кВт в 2020 г., 241 млн кВт в 2030 г., 270 млн кВт в 2040 г. и 295 млн кВт в 2050 году.

Для обеспечения прогнозируемого спроса на мощность определены масштабы развития генерирующих мощностей. Установленная мощность электростанций зоны централизованного электроснабжения России возрастет к 2050 г. на 113 млн кВт (на 48%) по сравнению с 2013 г. (233,5 млн кВт) и составит 346 млн кВт в целевом варианте и на 102 млн кВт (на 43,8%) и составит 336 млн кВт в консервативном варианте.

Балансы мощности по зоне централизованного электроснабжения в период до 2050 г. складываются положительно с превышением нормативного резерва на 0,8-13,8 млн кВт (0,3-6,5 % от спроса на мощность) в целевом варианте и 1,02-19,7 млн кВт (0,3-9,6 %) в консервативном варианте.

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА: РОССИЯ И МИРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ



Рис. 3. Возможный сценарий развития ЕНЭС РФ на долгосрочную перспективу

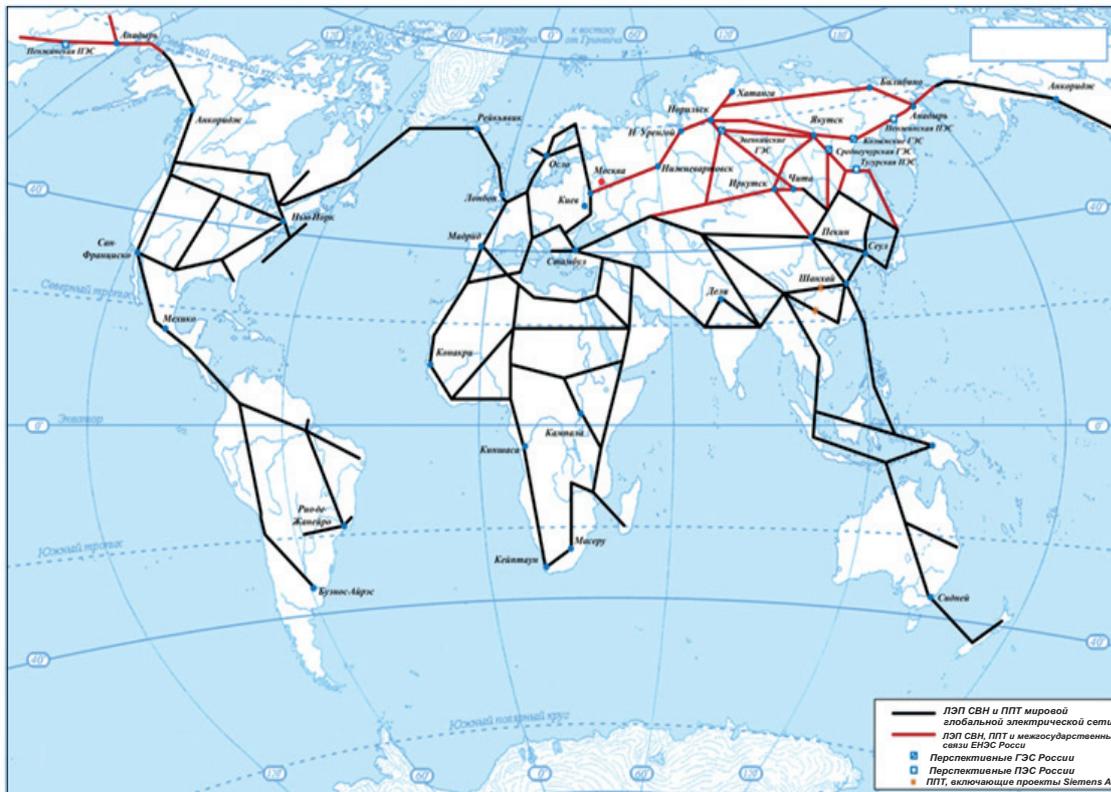


Рис. 4. Схематичный вариант интеграции ЕНЭС РФ в глобальную «Supergrid»

В Программе дополнительно рассмотрен вариант увеличения объемов экспорта электроэнергии из ОЭС Сибири и ОЭС Востока. Однако для реализации широкомасштабного экспорта электроэнергии необходимо сооружение экспортно-ориентированных электростанций.

Необходимо отметить, что в работах по перспективному развитию электроэнергетики России с учетом обеспечения широкомасштабного экспорта предусматривалось главным образом сооружение экспортно-ориентированных крупных тепловых электростанций на твердом топливе [6]. В Программе для обеспечения широкомасштабного экспорта также дополнительно предусматривается сооружение экспортно-ориентированных ТЭС и ГЭС.

7. В разработанной Программе уделяется значительное внимание возможным вариантам решения комплексной проблемы обеспечения физической и экологической безопасности объектов энергетики Российской Федерации: в первую очередь необходимо разработать прозрачную систему законодательных актов, регулирующих действия по проблемам безопасности объектов российской энергетики; создать стимулы у собственников энергетических объектов по поддержанию безопасности и обеспечить государственное субсидирование программ по обеспечению физической и экологической безопасности объектов энергетики.

Серьезной проблемой обеспечения физической безопасности объектов гидроэнергетики является состояние основных фондов [2, 9]. Действующий парк гидросилового оборудования в значительной мере выработал свой нормативный ресурс. На настоящий момент почти 70% имеющихся мощностей эксплуатируется более нормативного срока.

Практика эксплуатации гидросилового оборудования на ГЭС показала, что физический ресурс гидроагрегатов имеет индивидуальный характер и должен нормироваться по формальному временному фактору [4, 5]. Высокое качество и долговечность отечественного гидрооборудования позволяют сохранять его в работе на ряде ГЭС в течение 50-60 лет, то есть до 1,5 нормативных сроков службы. Необходимым условием продолжения эксплуатации старого оборудования на ГЭС является своевременное

и в полном объеме выполнение ремонтных и восстановительных работ.

8. Водоохранилища намеченных к строительству ГЭС, также как и водоохранилища, предназначенные в основном для неэнергетических целей, выполняют многие функции и оказывают влияние на отрасли экономики, использующие водные ресурсы, условия и качество жизни населения и экологические условия.

При разработке Программы проведен аналитический обзор комплекса водохозяйственных эффектов от строительства ГЭС, которые могут возникнуть в различных смежных отраслях экономики в результате строительства и ввода в эксплуатацию перспективных ГЭС в различных регионах РФ. При последующем проектировании конкретных объектов будут определены и конкретные участники комплексов, помимо электроэнергетики. При проведении расчетов экономической эффективности учтены только эффекты от энергетики и предполагаемый эффект защиты от наводнений.

Существенную роль в развитии гидроэнергетики России играют показатели общественной эффективности, характеризующие целесообразность осуществления проекта с позиции государства (региона) и учитывают как непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты и эффекты в смежных секторах экономики – экологические, социальные и т.д.

Наличие в России значительного неосвоенного экономического гидроэнергетического потенциала позволяет сформировать масштабную программу планируемых к строительству гидроэнергетических объектов [1].

Опыт гидростроительства показывает, что сооружение ГЭС в большинстве случаев, особенно в отдаленных малоосвоенных и трудных для проживания населения районов, дает начальный импульс хозяйственному развитию и благоустройству территории и далее остается постоянно действующим фактором для региональной экономики.

Новая энергетическая база не только способствует развитию местной промышленности, но и привлекает в регион крупных электроемких потребителей. В результате в реальном секторе производства создаются привлекательные рабочие места, обеспечиваются более комфортные

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА: РОССИЯ И МИРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

условия для населения (транспортные и прочие услуги, электрификация быта, наличие жилья и др.), возникает положительная динамика рабочей силы, растут налоговые поступления в региональные бюджеты.

Сооружение гидроузлов в республиках Северного Кавказа позволяет привлечь часть незанятого населения в сферу производства как непосредственно в строительстве, так и в обслуживании строительства ГЭС (коммунально-бытовые услуги, снабжение, транспорт, общепит и т.д.) и в дальнейшем способствует уменьшению безработицы.

Прямой социальный аспект проектов ГЭС заключается в расширении занятости населения при строительстве и эксплуатации ГЭС. После завершения строительства ГЭС – в увеличении рабочих мест на предприятиях развивающейся конкурентоспособной и экспортно-ориентированной местной промышленности и транспортной инфраструктуры. Увеличение поступлений в местный бюджет от налогов с новых предприятий будет способствовать созданию привлекательных и комфортных условий проживания населения с учетом рекреационного обустройства заселяемой территории и водохранилищ ГЭС.

По существу технологического процесса гидроэлектростанции являются экологически чистыми источниками электроэнергии – не выбрасывают в водную среду и атмосферу загрязняющих веществ, не потребляют атмосферного кислорода.

Опыт прошлого гидростроительства показывает, что крупных негативных изменений в природную среду гидроэнергетика не вносит. Влияние водохранилищ связано только с затоплением и подтоплением земель, переформированием берегов, изменением гидрологического режима рек и условий обитания растительного и животного мира. Все эти процессы и явления оцениваются в большинстве случаев как негативные, имеющие благоприятную динамику.

В свою очередь создание водохранилищ позволяет снизить ущербы от катастрофических наводнений в сельскохозяйственном производстве и снять ущербы от затоплений населенных пунктов, дорог и линий связи. Наиболее значительно противопаводковый эффект гидроузлов проявится на территориях Приморского и Хабаровского краев и Амурской области.

Также следует отметить, что в отличие от тепловой энергетики (основная альтернатива строительству ГЭС) в процессе производства электроэнергии на ГЭС не происходит выбросов в атмосферу вредных веществ, что в результате позволяет снизить антропогенное воздействие на воздушный бассейн.

Сопоставительная экономическая оценка целесообразности использования гидроресурсов определялась путем определения показателей общественной (сравнительной) эффективности в сравнении с альтернативным вариантом. Результаты расчетов позволяют ранжировать проекты и определять очередность гидростроительства.

Ранжирование перспективных гидроэнергетических объектов в зависимости от приоритетности строительства производилось на основе прогнозной потребности в новых источниках энергии с учетом полученных показателей эффективности. Ранжирование ГАЭС выполнено исходя из предполагаемых в будущем режимных затруднениях, связанных с недостатком маневренных мощностей на территориях, где экономический гидропотенциал практически исчерпан.

9. На базе анализа перечня изученных створов, степени проектной изученности, технических и финансово-экономических характеристик, а также реестра гидроэнергетических объектов были рассчитаны приросты установленной мощности новых гидроэнергетических объектов России (с учетом строящихся в настоящее время) в результате реализации предлагаемой программы гидростроительства по этапам и энергозонам (табл. 8).

Первоочередными объектами гидроэнергетики в регионах Дальнего Востока для интеграции в глобальные энергетические рынки предлагаются: Иджекская (Канкунская) ГЭС с контррегулятором Нижнетимптонской ГЭС, Среднеучурская ГЭС с контррегулятором Учурской ГЭС, Усть-Юдомская ГЭС с контррегулятором Нижнемайской ГЭС, Хинганская ГЭС суммарной мощностью 7235 МВт и выработкой электроэнергии 33,8 ТВтч.

Первоочередными объектами гидроэнергетики в регионах Восточной Сибири для интеграции в глобальные энергетические рынки

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА: РОССИЯ И МИРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

Таблица 8

Приросты установленной мощности ГЭС и ГАЭС России (МВт)

Энергосистемы	2015-2020 гг.	2021-2030 гг.	2031-2040 гг.	2041-2050 гг.	Всего
Целевой сценарий					
Гидростанции					
Европейская часть РФ и Урал	442	619	1 157	1 468	3 686
ОЭС Сибири	140	8 964	8 140	6 564	23 808
ОЭС Востока и изолированные районы	1 123	4 257	1 750	6 012	13 142
ГАЭС					
ОЭС Северо-Запада	-	1 560	-	3 170	4 730
ОЭС Центра	840	1 765	2 300	660	5 565
ОЭС Средней Волги	-	-	-	1 250	1 250
ОЭС Юга	140	600	-	-	740
Консервативный сценарий					
Гидростанции					
Европейская часть РФ и Урал	442	619	1 157	1 468	3 686
ОЭС Сибири	140	8 964	6 640	3 738	19 482
ОЭС Востока и изолированные районы	1 123	862	4 180	1 577	7 742
ГАЭС					
ОЭС Северо-Запада	-	1 560	-	3 170	4 730
ОЭС Центра	840	1 765	2 300	660	5 565
ОЭС Средней Волги	-	-	-	1 250	1 250
ОЭС Юга	140	600	-	-	740

предлагаются Эвенкийская ГЭС с контррегулятором, Тувинская ГЭС с контррегулятором Шивелигской ГЭС на р. Б. Енисей, Шуйская ГЭС с контррегулятором Буренской ГЭС на М. Енисее суммарной мощностью более 9,2 ГВт и выработкой электроэнергии около 40 ТВт·ч.

Энергию и мощность Эвенкийской ГЭС (первая очередь 6000 МВт) предполагается использовать в ОЭС европейской части России (возможно для экспорта в Европу) для чего требуется сооружение ЛЭП постоянного тока с

напряжением +750 кВ протяженностью до 2200 км до ОЭС Урала. Вторая очередь в объеме 6000 МВт предполагается для поставок электроэнергии в Китай и Монголию по двум ЛЭП напряжением +750 кВ протяженностью 1900 и 2700 км.

10. Объемы вводов мощностей на перспективных ГЭС до 2050 г. и отдаленной перспективы показаны в табл. 9, 10.

В разработанной Программе предлагается ввести и в целевом, и в консервативном сценарии 12,3 ГВт новых мощностей на ГАЭС, из которых 4,9 ГВт вводятся до 2030 года.

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА: РОССИЯ И МИРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

Таблица 9

Вводы мощностей на перспективных ГЭС до 2050 года

Наименование региона	Установленная мощность, МВт	Среднеголетняя выработка электроэнергии, ТВт·ч
Дальний Восток*	11 437	49,84
Восточная Сибирь	21 865	96
Северо-Восток европейской части	0	0
Итого	33 302	145,84
В том числе более 500 МВт		
Дальний Восток*	9 335	42,3
Восточная Сибирь	19 973	85,4
Северо-Восток европейской части	0	0
Итого	29 308	127,7

Примечание: * – показатели Хинганской ГЭС учтены в размере 50% (российская часть).

Таблица 10

Вводы мощностей на ГЭС отдаленной перспективы – после 2050 года

Наименование региона	Установленная мощность, МВт	Среднеголетняя выработка электроэнергии, ТВт·ч
Дальний Восток	43 437	182,44
Восточная Сибирь	25 633	107,83
Северо-Восток европейской части	9 505,8	34,23
Итого	78 575,8	324,5
В том числе более 500 МВт		
Дальний Восток	29 085	123,91
Восточная Сибирь	12 920	54,9
Северо-Восток европейской части	3 870	12,61
Итого	45 875	191,42

Таким образом, в целевом сценарии предлагаемой программы гидростроительства предусмотрен ввод до 2030 г. 15,5 ГВт новых мощностей на ГЭС, и в период с 2030 по 2050 гг. – 25,0 ГВт. Суммарные вводы новых мощностей в целевом сценарии до 2050 г. составят 40,6 ГВт на ГЭС и 12,3 ГВт на ГАЭС.

В консервативном сценарии предусмотрен ввод 12,2 ГВт новых мощностей на ГЭС до 2030 г., и в период с 2030 по 2050 гг. – 18,8 ГВт. Суммарные вводы новых мощностей в консервативном сценарии до 2050 г. составят 31,0 ГВт на ГЭС и 12,3 ГВт на ГАЭС.

При этом следует заметить, что подавляющая доля предлагаемых к строительству ГЭС находятся на территории Сибирского и Дальневосточного федеральных округов. Освоение гидроэнергетических ресурсов европейской ча-

сти РФ (за исключением Северо-Кавказского федерального округа) в основном будет вестись за счет строительства ГАЭС, поскольку имеющийся здесь экономически эффективный гидропотенциал уже используется.

Разработанный план ввода новых ГЭС является базовой основой Программы развития гидроэнергетики России до 2030 и на перспективу до 2050 г., одновременно создающий предпосылки для продажи электроэнергии и мощности на экспорт.

Строительство гидроэнергетических объектов будет способствовать преодолению неблагоприятных кризисных явлений в экономике, позволит снизить социальную напряженность и обеспечить привлекательность проектов ГЭС для инвесторов.

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА: РОССИЯ И МИРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

11. Суммарные объемы капиталовложений в строительстве, показаны в табл. 11. Капвложения показаны без учета строящихся в настоящее время станций.

Таблица 11

Суммарные капиталовложения в разработанную программу гидростроительства, млрд руб.

Энергосистемы	2015-2020 гг.	2021-2030 гг.	2031-2040 гг.	2041-2050 гг.	Всего
Целевой сценарий					
Гидростанции					
Европейская часть РФ и Урал	5,4	81,9	89,4	160,6	336,9
ОЭС Сибири	303,9	800,7	477,7	567,8	2150,1
ОЭС Востока и изолированные районы	186,6	582,1	313,5	1408,8	2491,0
Итого	495,5	1464,7	880,6	2137,2	4978,0
ГАЭС					
ОЭС Северо-Запада	41,6	55,7	25,0	238,7	361,0
ОЭС Центра	-	119,7	129,1	39,3	288,1
ОЭС Средней Волги	-	-	15,0	57,0	72,0
ОЭС Юга	-	35,5	-	-	35,5
Итого	41,6	210,9	169,1	335,0	756,6
Итого по целевому сценарию	537,1	1675,6	1049,7	2472,2	5734,6
Консервативный сценарий					
Гидростанции					
Европейская часть РФ и Урал	5,4	81,9	89,4	160,6	337,3
ОЭС Сибири	303,7	764,9	322,0	322,8	1713,4
ОЭС Востока и изолированные районы	51,5	247,9	577,1	384,4	1260,9
Итого	360,6	1094,7	988,5	867,8	3311,6
ГАЭС					
ОЭС Северо-Запада	41,6	55,7	25,0	238,7	361,0
ОЭС Центра	-	119,7	129,1	39,9	288,1
ОЭС Средней Волги	-	-	15,0	57,0	72,0
ОЭС Юга	-	35,5	-	-	35,5
Итого	41,6	210,9	169,1	335,0	756,6
Итого по консервативному сценарию	402,2	1305,6	1157,6	1202,8	4068,2

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА: РОССИЯ И МИРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

12. Объемы экономии топлива на альтернативных ТЭС в результате осуществления предлагаемой программы гидростроительства приведены в табл. 12.

13. Ориентировочные данные сокращения объемов выбросов от ТЭС в результате осуществления программы приведены в табл. 13.

14. В качестве составных частей разработанной Программы дополнительно в нее включен ряд приложений, в том числе «Альбом перспективных ГЭС» и «Расчет сметной стоимости строительства объектов перспективного гидроэнергостроительства». Альбом содержит сведения по 67-ми ГЭС и 8-ми ГАЭС, предусмотренным Планом ввода мощностей до 2050 года. В альбоме приведены карты-схемы размещения

перспективных ГЭС на территории России в привязке к объединенным энергосистемам РФ: ОЭС Северо-Запада, ОЭС Урала, ОЭС Юга, ОЭС Сибири, ОЭС Востока и технологически изолированные ЭС. Каждому из перспективных объектов посвящена отдельная страница альбома, на которой показаны схема размещения ГЭС в составе каскада гидроузлов на рассматриваемой реке, генплан гидроузла и приведена таблица с основными показателями ГЭС.

Разработанная Программа развития гидроэнергетики страны может рассматриваться как составная часть Энергетической стратегии России на период до 2030 года.

Результаты исследований, выполненных в ходе разработки Программы, могут быть ис-

Таблица 12

Объемы годовой экономии топлива на альтернативных ТЭС

Показатели	2030 г.	2040 г.	2050 г.
Европейская часть РФ, млн т у.т.	9	18	20
Сибирь и Восток, млн т у.т.	13	19	35
Итого, млн т у.т.	22	37	55
в т.ч. газ, млрд м ³	3	6	7
уголь, млн т н.э.	39	65	96

Примечания: без учета ГАЭС. Для ГЭС европейской части условно учтено замещение газа (75%) и угля (25%). Для Эвенкийской ГЭС учтена выдача всей электроэнергии на Урал и в Центр.

Таблица 13

Ориентировочные данные о сокращении объемов выбросов от ТЭС

Энергозоны	2030 г.	2040 г.	2050 г.
Европейская часть			
Экономия топлива, млн т у.т.	9	18	20
Сокращение выбросов в год, тыс. т:			
зола	20	44	46
оксиды азота	26	55	59
Сибирь и Восток			
Экономия топлива, млн т у.т.	13	19	35
Сокращение выбросов в год, тыс. т:			
зола	127	176	333
оксиды азота	40	56	105
Итого, тыс. т:			
зола	147	220	379
оксиды азота	66	111	164

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА XXI ВЕКА: РОССИЯ И МИРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

пользованы в первую очередь для разработки долгосрочной и среднесрочной инвестиционной программы ПАО «РусГидро»; при актуализации «Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики России», а также различными органами государственной власти для разработки предложений для внесения в схемы территориального планирования РФ и субъектов РФ в области гидроэнергетики; при разработке и корректировке законодательных актов,

регулирующих работу энергетического сектора России, программ социально-экономического развития, энергетических стратегий и программ субъектов РФ, комплексных программ по энергетическому освоению регионов России, генеральных схем развития отдельных отраслей; при разработке инвестиционных программ и крупных проектов компаний энергетического сектора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баденко Н.В., Ваксова Е.И., Иванов Т.С. Оценка перспективности гидроэнергетического строительства в регионах РФ на основе метода анализа иерархий // *Инженерно-строительный журнал*. 2014. № 4 (48). С. 47-48.
2. Беллендир Е.Н. и др. Система обеспечения безопасности объектов гидроэнергетики ОАО «Русгидро», 2013. 13-35 с.
3. Бушуев В.В. Роль гидроэнергетики в формировании ресурсной базы и энергетической инфраструктуры Евразии. СПб.: НП «Гидроэнергетика России» – Пятое Всероссийское совещание гидроэнергетиков. Тезисы докладов. 28-29 ноября 2013 г. М.: РА-Ильф, 2013. 50-51 с.
4. Козпитин А.М. и др. Математические модели и методы количественной оценки экологического интегрированного риска аварий гидротехнических сооружений. Саратов: СГТУ, 2001. 83-125 с.
5. Мельник С.Г., Хазиахметов Р.М. Вечный двигатель. Волжско-Камский гидроэнергетический каскад: вчера, сегодня, завтра. М.: Новосты, Юбилейная летопись, 2007. 352 с.
6. Подковальников С.В., Савельев В.А., Чудинова Л.Ю. Целесообразные направления развития межгосударственных электрических связей и торговли электроэнергией России. Иркутск: Восьмая Международная научная конференция «Энергетическая кооперация в Азии: риски и барьеры», 21-23 августа 2012 года.
7. Подковальников С.В., Савельев В.А., Чудинова Л.Ю. Перспективы электроэнергетической кооперации России и стран Северо-Восточной Азии // *Вопросы прогнозирования*. 2015. № 4. С. 118-130.
8. Соловьев Д.А. Проблемы и перспективы интеграции гидроэнергетических ресурсов России в глобальные электроэнергетические рынки Евразии // *Энергетическая политика*. 2014. № 3. С. 33-39.
9. Хазиахметов Р.М., Фотин С.В., Матюшечкин С.Н. Создание технологии расчетной оценки фактической прочности и остаточного ресурса элементов основного гидроэнергетического оборудования методами математического моделирования. СПб., 2012.
10. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. М.: Энергия, 2010. 184 с.
11. *World Atlas and Industry Guide – Hydropower&DAMS London: The International Journal on Hydropower and Dams. Aqua-Media International Ltd, 2014.*
12. Проект Энергетической Стратегии России на период до 2035 года. М.: Минэнерго РФ, 2014.
13. Программа развития гидроэнергетики России до 2030 года и на перспективу до 2050 года (Отчет о НИР по лоту № 1-ИА-2014-ДНТР ПАО «РусГидро»). М., 2015.
14. Исследование и разработка проекта интеграции гидроэнергетических ресурсов России в глобальные электроэнергетические рынки (ЗАО «ГУ ИЭС»). Отчет о НИР по лоту № 2-ИА-2014-ДНТР (ПАО «РусГидро»). М., 2015.

Поступила в редакцию
15.02.2016 г.

**B. Bogush, R. Khaziakhmetov, V. Bushuev, N. Voropai, E. Bellendir, E. Vaksova,
V. Chemodanov, S. Podkovalnikov²**

THE MAIN PROVISIONS OF THE PROGRAM OF HYDROPOWER DEVELOPMENT OF RUSSIA UP TO 2030 AND VISIONS TO 2050

In the article the basic provisions of the Program of development of hydropower engineering of Russia in conjunction with projected levels of electricity demand and balance the situation in the United energy systems of Russia for the period up to 2050. The program has been developed within the limits of research and development on the instructions of JSC «RusHydro» in 2015 by specially created consortium of the leading Russian research and design organizations.

Key words: hydropower, hydropower resources, electricity infrastructure, transport and interconnection, hydropower development program, energy projects, bridges, balances of power and electricity, the commissioning of power generation capacity.

² Boris B. Bogush – member of board, first deputy general director – chief engineer of the JSC «RusHydro», *e-mail:* office@rushydro.ru;
Rasim M. Khaziakhmetov – director for technical policy and development of the JSC «RusHydro», executive director of NP «Hydropower of Russia», *e-mail:* KhaziakhmetovRM@rushydro.ru;
Vitaliy V. Bushuev – general director of the Institute for Energy Strategy, professor, Doctor of Engineering, *e-mail:* vital@df.ru;
Nikolai I. Voropai – director of Melentiev Institute for Energy Systems SB RAS, corresponding member of RAS, Doctor of Engineering, *e-mail:* kvoropai@isem.sei.irk.ru;
Evgeniy N. Bellendir – general director of JSC «Institute «The Hydroproject», Doctor of Engineering, *e-mail:* e.bellendir@hydroproject.ru;
Evgenia I. Vaksova – chief of department of perspective projects of JSC «Institute «The Hydroproject», *e-mail:* oeipe@mail.ru;
Vladimir I. Chemodanov – deputy general director for strategic planning of energy development of the JSC «Institute «ENERGOSETPROJECT», PhD in Economics, *e-mail:* chemodanov_v@oaoesp.ru;
Sergey V. Podkovalnikov – head of laboratory, ISEM SB RAS, PhD in Engineering, *e-mail:* spodkovalnikov@isem.irk.ru
